



Quentin Plantec, Pascal Le Masson et Benoît Weil

Science et industrie à l'aune du double impact

Favoriser les découvertes scientifiques
et les innovations de rupture

Préface de Patrice Caine, PDG du groupe Thalès et président de l'ANRT
Postface de Jean-Luc Moullet, DG délégué à l'innovation du CNRS



Presses des Mines

Quentin Plantec, Pascal Le Masson et Benoît Weil, *Science et industrie à l'aune du double impact. Favoriser les découvertes scientifiques et les innovations de rupture*, Paris, Presses des Mines, collection Sciences de la conception, 2024.

© Presses des MINES – TRANSVALOR
60, boulevard Saint-Michel
75272 Paris Cedex 06 – France
presses@mines-paristech.fr
www.pressedesmines.com

Couverture: © Unsplash

ISBN: 978-2-38542-595-1

Dépôt légal 2024

Cette publication a bénéficié du soutien de l'Institut Carnot M.I.N.E.S.
Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et d'exécution réservés pour tous les pays.

Science et industrie
à l'aune du double impact

Quentin Plantec, Pascal Le Masson et Benoît Weil

Science et industrie à l'aune du double impact

Favoriser les découvertes scientifiques
et les innovations de rupture

« Galilée remet à la République de Venise une nouvelle invention »

GALILÉE. Votre Excellence, éminente *Signoria*! En tant que professeur de mathématiques à votre université de Padoue et en tant que directeur de votre grand arsenal, ici à Venise, j'ai toujours considéré qu'il était de mon devoir, non seulement de satisfaire à ma haute charge professorale, mais encore, de procurer par des inventions utiles des avantages exceptionnels à la République de Venise. Avec une joie profonde de toute l'humilité qui vous est due, je puis aujourd'hui vous présenter et vous remettre un instrument absolument nouveau, ma lunette ou télescope, fabriqué selon les plus hauts principes scientifiques et chrétiens, dans votre grand arsenal célèbre dans le monde entier, fruit de la recherche patiente de dix-sept années de votre humble serviteur. *Galilée quitte l'estrade et se place à côté de Sagredo. Applaudissements. Galilée s'incline.*

GALILÉE, à voix basse à Sagredo. Temps perdu!

SAGREDO, à voix basse. Tu vas pouvoir payer ton boucher, mon vieux.

GALILÉE. Oui, ça va leur rapporter de l'argent.

Il s'incline à nouveau.

LE CURATEUR, monte sur l'estrade. Excellence, éminente *Signoria*! Une fois de plus, une page glorieuse du grand livre des arts se couvre de caractères vénitiens. *Applaudissements polis.* Un savant de renommée mondiale vous remet ici, à vous et à vous seuls, un tube hautement commercialisable afin que vous le fabriquiez et le lanciez sur le marché tout comme il vous plaira. *Applaudissements plus appuyés.* Et avez-vous songé qu'au moyen de cet instrument nous pourrions en temps de guerre reconnaître le nombre et le genre des bateaux de l'ennemi deux bonnes heures avant qu'il ne puisse le faire des nôtres, et qu'ainsi nous pourrions, sachant sa force, nous décider à le poursuivre, le combattre ou le fuir? *Applaudissements très appuyés.* Et maintenant, Excellence, éminente *Signoria*, monsieur Galilée vous prie de recevoir, des mains de sa charmante fille, cet instrument de son invention, ce témoignage de son intuition. *Musique. Virginia s'avance, s'incline, remet la lunette au curateur qui la remet à Federzoni. Federzoni la pose sur le trépied et la règle. Le doge et les conseillers montent sur l'estrade et regardent à travers la lunette.*

GALILÉE, à voix basse. Je ne peux pas te promettre que je supporterai jusqu'au bout ce carnaval. Ces gens-là s'imaginent avoir reçu un joujou qui va leur rapporter, mais c'est bien davantage. La nuit dernière j'ai pointé cette lunette en direction de la lune.»

La vie de Galilée, Bertolt Brecht (p. 26-27)¹

¹ Traduit par Eloi Recoin, ed. L'Arche.

Préface

Les collaborations entre science et industrie : une alliance stratégique pour l'innovation et la compétitivité technologique de la France

Patrice Caine
PDG du groupe Thales et Président de l'ANRT

On ne le dira jamais assez : l'innovation constitue un déterminant majeur de la compétitivité de notre pays, de sa prospérité et de sa capacité à contribuer à relever les défis sociaux et environnementaux de notre époque. Hélas, il n'existe pas de recette simple et universelle permettant à coup sûr de favoriser l'émergence de technologies qui nous offriront demain des déplacements et des logements plus efficaces, des soins médicaux plus perfectionnés, un avenir plus durable et plus sûr. Une chose en revanche est certaine : la qualité de la coopération entre le monde industriel et celui de la recherche est au cœur de cet enjeu.

Aussi, en tant que PDG de Thales et président de l'Association Nationale de la Recherche et de la Technologie (ANRT), mais aussi simplement comme citoyen, j'ai eu grand plaisir à découvrir l'ouvrage que vous tenez entre les mains, aboutissement de six années de travaux de recherches menés par Quentin Plantec, Pascal Le Masson et Benoît Weil. Ce travail leur a permis de mettre en lumière les mécanismes complexes mais essentiels qui façonnent les interactions entre science et industrie. Le nouveau cadre d'analyse qu'ils proposent est d'un grand intérêt pour les équipes de R&D, les instituts de recherche et d'enseignement, les pouvoirs publics et, plus généralement, toutes les personnes cherchant à mieux comprendre les rouages par lesquels fonctionnent les écosystèmes d'innovation dans notre pays.

Je tiens particulièrement à souligner l'intérêt du modèle d'interactions que les auteurs ont nommé « couplage à double-impact simultané ». Ce paradigme décrit une collaboration où les efforts de recherche ne sont pas menés uniquement au service de l'industriel, mais en vue d'aboutir à des avancées scientifiques et d'innovation conjointes. Ce modèle n'est pas seulement spéculatif ! Les auteurs en font plusieurs fois la démonstration en analysant des cas historiques (notamment celui des Bell Laboratories), mais aussi des exemples plus récents. On découvre ainsi que c'est dans l'industrie agroalimentaire qu'ont été développées les bases

théoriques du fonctionnement de CRISPR-Cas9, la technologie de ciseaux moléculaires ouvrant la voie à des thérapies géniques novatrices. Cet ouvrage montre comment l'industrie, au sens large, peut constituer un terrain fertile de découvertes scientifiques, en apportant des conditions d'expérimentation ou de test, des outils, des données, des expertises ou des interprétations novatrices qui peuvent être associées à des briques de connaissances nouvelles et originales pour les scientifiques. Ce cadre peut les aider à approcher différemment leurs propres travaux de recherche.

Les analyses et les exemples mentionnés font largement écho aux démarches mises en œuvre au sein de Thales. La collaboration avec la recherche académique est un sujet de première importance pour un groupe comme le nôtre, dont la compétitivité dépend du maintien de son avance technologique et qui consacre des moyens humains et financiers très significatifs à la R&D. Plus encore, l'impact que pourraient avoir sur nos secteurs d'activité certains domaines de pointe – tels que les technologies quantiques, l'intelligence artificielle, les interfaces cerveau-machine – rend particulièrement crucial de réussir l'alliage entre recherche fondamentale et innovation. Nous avons été la première entreprise en France à créer une unité mixte de recherche avec le CNRS. Dédiée à la physique fondamentale, elle a fait la preuve de son excellence avec notamment la découverte de la magnétorésistance géante, qui a valu en 2007 le prix Nobel à Albert Fert, et le développement de la spintronique. Je pourrais citer bien d'autres exemples de collaboration réussie avec le monde de la recherche académique, comme la Chaire industrielle Dispositifs Quantiques avec l'ENS, le CNRS, la NTU Singapour, l'ESPCI, ou encore notre laboratoire commun avec le CNRS et l'Université Aix-Marseille pour le développement de Systèmes Optiques et d'Instrumentation Embarquée, utiles notamment pour l'exploration spatiale et l'observation de la Terre.

Si notre groupe semble s'inscrire dans le modèle de «double impact simultané», c'est bien parce que ce type de partenariats renforce notre capacité à innover et à développer des technologies de rupture, tout en permettant à nos partenaires académiques de poursuivre des voies de recherche ambitieuses et porteuses d'avancées scientifiques de portée mondiale. Mais si les auteurs montrent que ce modèle de collaboration est d'ores et déjà à l'œuvre, ils rappellent que ses conditions de réalisation n'en sont pas moins exigeantes et supposent des modes de gestion adaptés. C'est assurément un grand mérite de cet ouvrage que de contribuer à en éclaircir les facteurs clés de succès au travers d'exemples très éloquents. À cet égard, je voudrais souligner l'intérêt de l'étude que les auteurs ont menée sur les thèses CIFRE. Ce dispositif, qui place très tôt des doctorants au cœur d'une collaboration entre une entreprise et un laboratoire, constitue une approche originale et innovante d'association entre ces deux univers. Il a aussi marqué de son empreinte la recherche dans notre pays, puisque, après quarante ans d'existence, il représente aujourd'hui plus de 10 % des doctorats en France.

À la suite de l'analyse de près de 600 thèses et en s'appuyant sur le *Rapport de Recherche ANRT Caractérisation et Performances des thèses CIFRE* publié en 2023, les auteurs font ressortir la très grande diversité et la richesse des stratégies de recherche et modalités de coopération permises par ce dispositif. D'une part, ils mettent à bas une idée reçue voulant que les thèses CIFRE obéiraient majoritairement à des objectifs appliqués, avec un pilotage qui serait quasi-exclusivement industriel: ce cas est plutôt rare et ne conduit d'ailleurs pas à des performances scientifiques en-deçà des attentes. D'autre part, il apparaît que les doctorants CIFRE ont souvent la possibilité d'adopter des stratégies de recherche très exploratoires, avec d'excellents résultats. Ces conclusions intéresseront toutes les institutions et entreprises participant au dispositif CIFRE – au premier chef Thales, qui soutient plus de 220 doctorants à travers le monde.

Cet ouvrage offre une vision profonde et engageante de la manière dont la science et l'industrie peuvent et doivent interagir pour relever les défis contemporains. Il ouvre une voie de recherche prometteuse, qui devra se poursuivre, pour améliorer notre compréhension de ces interactions et proposer des pistes opérationnelles et managériales encore plus fines pour les favoriser. Les recherches futures pourront notamment aborder la question de la gestion de ces collaborations dans une perspective où la science et les centres de R&D s'internationalisent de plus en plus, conduisant à un niveau de complexité de plus en plus élevé. Elles pourront également s'intéresser plus spécifiquement au cas des PME et des ETI, qui jouent un rôle clé dans le tissu industriel français. Enfin, il pourra être pertinent d'explorer plus en profondeur le rôle de ces collaborations dans des contextes de grandes transitions comme l'intelligence artificielle et la lutte contre le réchauffement climatique.

Je remercie les auteurs pour cette exploration approfondie des relations entre science et industrie, et suis convaincu que les perspectives dévoilées ici inspireront les institutions académiques et les entreprises à poursuivre et à intensifier leurs collaborations. Ce travail est non seulement une addition précieuse à notre compréhension collective, mais aussi un guide essentiel pour développer et encourager ces relations fructueuses pour les années à venir.

Introduction

En février 2024, le journal *The Economist*¹, largement consulté par les pouvoirs publics et les dirigeants, a mis en exergue un paradoxe préoccupant : alors que l'investissement dans les universités et les écoles a été colossal – environ 13 milliards d'euros par an en France en 2020² – et que le nombre de publications scientifiques a explosé ces dernières décennies, la productivité globale, elle, n'a que très peu évolué. Pour le journal britannique, le constat est simple : les idées des scientifiques ne parviennent pas à devenir des innovations, notamment parce que la recherche académique y est décrite (ou caricaturée) comme ayant pour seul objectif de «satisfaire la curiosité de geeks qui souhaitent augmenter leur nombre de citations plutôt que de faire des découvertes qui vont changer le monde et faire de l'argent»³. Dès lors, ils proposent de questionner la pertinence du financement public de la recherche.

Sans entrer tout de suite dans ce débat, une chose est certaine : le rapport entre recherche académique et innovation, et plus largement l'organisation des relations entretenues entre science et industrie, n'a cessé de poser question depuis de longues années. On pourrait évoquer les débats houleux dans les années 1930 entre Perrin et Le Chatelier sur les relations que le futur CNRS devrait entretenir avec les entreprises, les questionnements du premier numéro thématique de *Administrative Science Quarterly* – revue majeure de sciences de gestion – qui s'interrogeait déjà en 1956 sur les difficultés d'organiser ces relations, ou bien le nombre absolument vertigineux de rapports ministériels et étatiques qui tentent de mieux comprendre ce phénomène et de l'organiser au mieux. On citera par exemple le désormais célèbre rapport *Science The Endless Frontier* de V. Bush en 1945 aux États-Unis, ou en France le rapport Juppé-Rocard de 2009, ou celui commandé par le ministre de l'Économie et le secrétaire d'État à l'Enseignement supérieur à la chercheuse américaine Suzanne Berger en 2016, voire, plus récemment, celui sur l'Assemblée Nationale sur l'Innovation de Rupture en 2018.

Si la question des relations science-industrie fait autant couler d'encre, à la fois des chercheurs, des journalistes, des dirigeants d'entreprise, des politiques et des pouvoirs publics, c'est bien parce que si l'on s'intéresse aux plus grandes avancées scientifiques et industrielles, celles qui ont changé notre quotidien ou notre société en profondeur, on voit ces deux mondes complexes s'entremêler. Les exemples

1 «Universities are failing to boost economic growth», *The Economist*, 05/02/2024.

2 État de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation en France N°16 – financement directs hors ressources propres.

3 Traduction des auteurs.

historiques sont d'ailleurs pléthoriques : Galilée et les représentants de commerce, Pasteur et les brasseurs lillois, Coolidge, Langmuir et le laboratoire de General Electric. Nous pourrions prendre des exemples plus récents : Wittingham et son travail sur l'intercalation qui a permis de concevoir les batteries lithium-ion, Katalink Kariko et Drew Weissman pour leurs travaux sur l'ARN messenger qui ont permis de lutter contre le Covid-19 (vaccins Moderna et BioNTech-Pfizer). Pourtant, paradoxalement, les relations entre science et industries semblent toujours complexes, mal connues, peu comprises, et comme le rappelle l'article de *The Economist*, sujettes à débats.

Prenons quelques exemples, à différentes périodes, pour appréhender la complexité de ces relations, à partir de trois découvertes récompensées par la plus haute des distinctions scientifiques : le prix Nobel. En 1956, William Shockley, Walter H. Brattain et John Bardeen obtiennent le prix Nobel de Physique pour leurs recherches sur les semi-conducteurs et la découverte des effets du transistor. En 2007, Albert Fert obtient le prix Nobel de Physique pour ses travaux sur la magnétorésistance géante (GMR). En 2020, Emmanuelle Charpentier et Jennifer Doudna obtiennent le prix Nobel de Chimie pour leurs travaux sur les « ciseaux à ADN ». Le point commun entre ces trois découvertes qui courent sur plus d'un demi-siècle ? Leurs impacts socio-économiques massifs, liés aux produits innovants développés grâce à leurs découvertes. Le nombre de transistors est désormais pléthorique, de nos téléphones à nos voitures, la GMR a permis le développement des disques durs modernes type SSD, et les ciseaux à ADN, bien que récents, permettent déjà de soigner des maladies génétiques jusqu'alors incurables⁴.

Pourtant, bien que leurs découvertes scientifiques aient conduit à des innovations majeures, Shockley, Brattain, Bardeen, Fert, Charpentier et Doudna entretiennent des rapports très différents à l'industrie. Charpentier et Doudna, toutes deux affiliées à de grands Organismes Publics de Recherche (OPR), respectivement à l'Université de Berkeley et au Max Planck Institute, semblent mener leurs travaux sans lien particulier avec des industriels. En revanche, Albert Fert, bien qu'affilié au CNRS et à l'Université Paris-Saclay, continue de conduire des travaux de recherche partenariale avec Thomson CSF (devenu Thalès) au travers d'un laboratoire commun (UMR CNRS-Thalès). Shockley, Brattain et Bardeen étaient quant à eux, affiliés directement à un industriel pour leur découverte : les AT&T Bell Laboratories. Mais comment, au travers de ces situations si hétérogènes, comprendre les effets sur l'innovation et la recherche des liens entre scientifiques et industriels ?

4 « CRISPR/cas9 : l'arme fatale de la thérapie génique », *Sciences & Vie*, 07/10/2020.

Pour adresser cette question, on ne peut se contenter d'étudier les belles histoires, ces fameuses *success stories* relayées à outrance pour défendre l'idée qu'un modèle d'organisation serait systématiquement préférable à un autre. D'abord il faut remarquer à quel point les relations science-industrie ne semblent pas toujours être fluides, fécondes ou simples à mettre en place. On pourrait adopter une position radicale et évoquer les scandales et les manipulations de la science par l'industrie : l'entreprise Surgisphere et l'hydroxychloroquine pendant la crise du Covid-19⁵, les efforts de manipulation de la science par l'industrie du tabac ou celle des pesticides⁶. Mais nous pourrions aussi plus simplement évoquer les interactions difficiles et les irritants classiques entre ces deux mondes. Parfois et comme le montre bien le cas de *The Economist*, c'est le sujet du délai particulièrement long d'absorption des connaissances scientifiques par les industriels qui est évoqué, face à des scientifiques dans leurs «tours d'ivoire» et qui ne seraient que dans la «théorie». Une étude menée par G. de Rassenfosse et son équipe⁷ montre d'ailleurs qu'en moyenne, les produits commercialisés et mis aujourd'hui sur le marché s'appuient sur des publications scientifiques d'il y a plus de dix-neuf ans et des brevets d'il y a plus de quatorze ans. Dans d'autres cas, on se plaint du manque d'investissement des industriels dans la science, notamment ouverte, par exemple pour des questions de propriété industrielles et d'un recourt grandissant au secret (voir le modèle Tesla), le tout avec une forme de nostalgie de la «grande époque» de la recherche industrielle et leurs nombreux prix Nobel (AT&T Bell Laboratories, IBM, General Electric, etc.). Les acteurs évoquent aussi largement les difficultés à contractualiser, à trouver des objectifs partagés, les négociations sur les contrats qui n'en finissent plus pour des questions de responsabilités, de gestion des risques, de modèles économiques en cas de découvertes ou de création de logiciels lors des collaborations de recherche. Ils critiquent aussi parfois les pouvoirs publics, face aux réformes qui n'auraient, selon eux, pas assez tenu compte des constructions plus anciennes, ou de modèles d'aides à la recherche trop complexes, notamment face à une recherche française considérée par certains comme en perte de vitesse⁸.

Évidemment, on ne peut pas se questionner sur les relations science-industrie en faisant fi des nombreux travaux sur le sujet. C'est un sujet phare des sociologues, des économistes, mais aussi des théoriciens de l'innovation en sciences de gestion. Dans cet ouvrage, nous proposons de prendre un angle nouveau, en se questionnant sur la façon dont les relations science-industrie peuvent jouer sur les potentiels d'exploration et de créativité des acteurs : une vision davantage cognitive

5 «Covid-19: les dessous de Surgisphere, l'entreprise de données dans la tourmente avec l'affaire du Lancet», *Sciences et Avenir*, 11/06/2020.

6 Voir par exemple : «Sciences et Industrie : tous vendus ?», La méthode scientifique, podcast France Culture (18/02/2021), ou le documentaire «La fabrique de l'ignorance» de F. Cuveillier et P. Vasselin (2021).

7 G. de Rassenfosse, *Research & Innovation EU Report*, 2022 (p. 786).

8 «Les raisons du déclin de la recherche en France», *Le Monde*, 28/09/2021.

qu'institutionnelle, qui s'appuie sur la façon dont les acteurs structures et naviguent ensemble dans l'inconnu pour faire avancer la science et l'innovation. S'interroger sur ce sujet, c'est aussi envisager les cas où la relation peut créer des effets de dépendances, d'asservissement ou limiter les acteurs dans leur quête de découvertes scientifiques et d'innovation.

Si cette approche peut surprendre, après tout, ne peut-on pas considérer qu'une part de l'industrie des biotechs s'est « construite » uniquement sur la base des découvertes de Doudna et Charpentier sur CRISPR⁹? Ne peut-on pas considérer que Fert a été « inspiré » par Thomson CSF et Thalès pour la découverte de la GMR¹⁰? Ou que Shockley, Brattain et Bardeen ont été spécifiquement poussés par les AT&T Bell Laboratories à poursuivre leurs voies de recherche particulière? D'ailleurs Shockley défendra lui-même un paradigme de recherche fondé sur le « respect pour les aspects scientifiques des problèmes pratiques »¹¹ (Shockley, 1976, p. 1545). Mais au-delà de ces quelques cas particuliers, cela ouvre un nouveau champ de questionnement. À grande échelle, on peut s'interroger, à partir de cette vision plus cognitive, sur les différents modèles science-industrie. Comment fonctionnent-ils? Lesquels sont dominants, nouveaux ou classiques? Pour quelles performances en matière d'innovation et de recherche scientifique? Et surtout, peut-on en inventer de nouveaux qui permettraient de mieux expliquer certaines *success stories*? De mieux faire face aux grandes transitions contemporaines?

UNE NOUVELLE NOTION : LE COUPLAGE SCIENCE-INDUSTRIE

La recherche d'une meilleure compréhension des liens entre science et industrie est bien sûr un défi complexe qui a suscité le développement d'un nouveau concept, celui du *couplage science-industrie*. Cette démarche vise à saisir la nature multifacette et les dynamiques sous-jacentes qui régissent ces interactions, dépassant ainsi les cadres traditionnels de collaboration ou de valorisation. L'impulsion qui a mené au développement de ce nouveau concept découle de plusieurs constats et aspirations :

- *La complexité des interactions* : les exemples historiques montrent que les relations entre science et industrie peuvent prendre diverses formes, allant de la consultation passive de publications scientifiques par les industriels à des partenariats de recherche actifs. Ces interactions ne se limitent pas à de simples collaborations mais englobent un éventail plus large d'échanges et d'influences, nécessitant une conceptualisation plus nuancée.
- *Les limites inhérentes à la notion de valorisation ou d'impact* : bien que la valorisation de la recherche soit largement encouragée, ce concept présente des limites,

9 « L'effet Nobel de chimie, GenOway bondit de 100 % en bourse en trois jours », *Les Échos*, 12/10/2020.

10 « Albert Fert : l'art de la physique », Université Paris Saclay – portrait de chercheurs, 03/12/2020.

11 Traduction de l'auteur.

notamment son approche unidirectionnelle qui considère les connaissances scientifiques comme pré-existantes et ne prend pas en compte les potentiels effets rétroactifs du développement industriel sur la recherche scientifique.

- *Les influences réciproques*: nous considérons crucial de reconnaître que les activités de recherche et de développement peuvent s'influencer mutuellement, avec des objectifs parfois alignés et parfois divergents. Cette influence réciproque peut contraindre ou stimuler la créativité et l'exploration dans les deux domaines.

Ainsi, le concept de *couplage science-industrie* est donc proposé comme une métaphore mécanique éloquente, où, à l'instar de deux circuits électriques ou deux dispositifs connectés, les activités de recherche et de développement peuvent être indépendantes tout en ayant la capacité de transférer énergie et inspiration créative de manière réciproque. Ce modèle de liaison vise à encapsuler la possibilité d'échanges mutuellement bénéfiques ainsi que la reconnaissance d'effets de dépendance entre ces activités, ouvrant la voie à une pluralité de formes de couplages. En articulant ce concept avec les distinctions plus traditionnelles entre recherche appliquée et fondamentale, le couplage offre un cadre analytique permettant d'explorer comment ces types de recherche s'intègrent dans divers régimes de relations science-industrie. Il échappe ainsi à une lecture purement institutionnelle, pour questionner les succès et échecs des différentes approches.

En somme, l'introduction du couplage science-industrie vise à dépasser les perspectives unidimensionnelles, en reconnaissant la complexité et la richesse des interactions entre recherche et développement. Ce faisant, elle aspire à éclairer les voies par lesquelles la science et l'industrie pourraient collaborer de manière plus intégrée et symbiotique, répondant ainsi aux défis contemporains, sans tomber dans le piège d'un asservissement mutuel. Pour cela, nous avons besoin d'inventer un nouveau modèle, le couplage dit à *double impact simultané*.

UN COUPLAGE EN RUPTURE : LE DOUBLE IMPACT SIMULTANÉ

Pour pouvoir étudier différents types de couplage science-industrie, nous pouvons nous appuyer sur un travail d'analyse historique des différentes doctrines et leurs évolutions, où deux grands modèles de couplages semblent émerger. D'une part, des couplages hérités du *modèle linéaire*: une logique de séparation des activités, où la recherche scientifique est menée dans un «paradigme de la curiosité» et ses résultats *transférés* vers l'industrie. Ce modèle semble favoriser l'impact scientifique au détriment de l'innovation et de l'industrie¹². D'autre part, des couplages qui s'inscrivent dans une logique de *science résolutoire*: des cas de *recherche partenariale* où la

12 Voir notamment les débats actuels sur les Technology Transfer Offices (TTO), par exemple Miller, McAdam et McAdam (2016), ou les résultats en deçà des attentes soulignés par la Cour des comptes (2018a), le MESRI (2020).

science est au service de la résolution de problèmes industriels locaux. À l'inverse, ce modèle semble favoriser l'impact industriel au détriment de l'impact scientifique¹³.

Ainsi, le choix d'un modèle de couplage semble alors cornélien : choisir l'un de ces couplages, c'est nécessairement au prix de la promotion d'un impact, scientifique ou industriel, à défaut de l'autre. D'ailleurs, les pouvoirs publics soulignent régulièrement les résultats en deçà des attentes de ces deux modèles, malgré des efforts financiers et d'innovations organisationnelles importants. Et pour brouiller encore davantage les pistes de compréhension, la rencontre de ces deux activités peut conduire au meilleur, et nous l'avons illustré par nos exemples introductifs, mais aussi au pire. Comme nous l'indiquent les avancées récentes de l'agnotologie, la science est parfois une arme d'influence d'industriels peu scrupuleux pour «fabriquer l'ignorance» : scandales du tabac, du bisphénol A, des néonicotinoïdes, etc.

Pourtant, si dans les deux types de couplages précédant, un choix doit s'opérer entre impact scientifique ou impact industriel, les crises et les grandes transitions écologiques, énergétiques, numériques nécessitent la production de nouveaux savoirs scientifiques, et dans le même temps, de nouveaux produits, procédés ou services. Le cas de la crise récente du covid-19 est emblématique : il faut en un temps record, produire des vaccins, des remèdes, mais aussi et pour cela comprendre les mécanismes d'actions du nouveau virus, ses modes de diffusion. Ainsi, nous pourrions faire l'hypothèse, presque naïve, d'un modèle de relations science-industrie qui favoriserait, au cours d'un même projet, l'impact scientifique (i.e., nouvelle découverte scientifique) et l'impact industriel (i.e., nouveau produit, procédé ou service innovant). Nous parlerons dès lors d'un couplage à double impact simultané. Or, cette logique est défendue par plusieurs institutions : Stanford, les Fraunhofer Institute, les instituts Carnots, l'École des Mines¹⁴, Harvard Engineering School, etc. Et plusieurs situations historiques pourraient être réinterprétées à l'aune de ce modèle de couplage, y compris les cas de Fert et Thomson CSF-Thalès, ou Shockley, Bardeen et Brattain et les AT&T Bell Laboratories.

En résumé, le modèle de double impact simultané présente une approche de recherche transformatrice qui vise à surmonter les dichotomies traditionnelles entre science fondamentale et application industrielle. Si l'étude approfondie d'un possible couplage à double impact simultané s'avère prometteuse et en supposant que ce couplage existe bel et bien, ses conditions sont probablement particulièrement restrictives et il sera nécessaire de les spécifier. Et c'est bien tout l'enjeu de cet ouvrage : comprendre comment caractériser un tel modèle, vis-à-vis de modèles plus classiques, mais aussi faire la démonstration de son existence, comprendre son rôle, ses apports et ses logiques de fonctionnement.

13 Pour donner un exemple contemporain, on soulignera que l'on retrouve ces deux grands modèles dans le Programme d'Investissement d'Avenir (PIA), structuré autour d'actions pour la recherche partenariale d'une part, et du transfert d'autre part (Cour des comptes, 2018a).

14 Voir notamment Archambault (2019).

Nous pensons que cette exploration peut conduire à des apprentissages majeurs, notamment pour les responsables de R&D dans les entreprises, mais aussi les responsables de laboratoire, les chargés de valorisation dans les bureaux de transfert des Écoles et des universités, les chercheurs et managers d'institutions de recherche impliqués, ou souhaitant s'impliquer, dans des collaborations de recherche avec l'industrie.

ITINÉRAIRE D'UNE EXPLORATION DES RELATIONS SCIENCE-INDUSTRIE

Comme procéder pour étudier un modèle aussi novateur que l'est l'idée du couplage à double impact simultané ?

Nous proposons d'abord au lecteur, dans le Chapitre 1, d'ancrer le sujet dans les questionnements actuels sur les relations science-industrie, et nous reviendrons sur trois principales « doctrines », qui portent respectivement sur la logique du transfert, de la recherche industrielle et de la recherche partenariale. L'objectif est ainsi de faire un état des lieux des relations science-industrie et des débats associés. Nous nous appuyerons sur cette base pour proposer, dans le Chapitre 2, la notion de couplage science-industrie à double impact, qui nous permettra de mieux comprendre les effets de la science sur l'industrie, et réciproquement. Nous proposerons alors la possibilité d'un modèle de couplage dit de *double impact simultané*, c'est-à-dire la capacité à générer dans une relation science-industrie, simultanément, une avancée scientifique majeure et une innovation industrielle. Nous montrerons en quoi ce modèle s'inscrit dans l'actualité, dans un contexte de transitions, et semble aussi pertinent du point de vue historique, même si ses conditions d'existence semblent particulièrement restrictives. Le Chapitre 3 visera alors à mettre ce modèle en regard des connaissances existantes dans la littérature en sciences de gestion, pour bien comprendre ce qu'il nous faut tester et explorer, et établir la pertinence d'un tel couplage novateur. En particulier nous reviendrons sur deux résultats clés de la littérature. D'une part, il est désormais clairement établi que le chercheur qui interagit avec l'industrie est, comparativement à ses pairs, en moyenne plus productif, publie dans des journaux académiques mieux classés, et reçoit plus de citations pour ses travaux. D'autre part, la volonté d'interagir avec l'industrie est motivée davantage par des objectifs scientifiques, que financiers, et cet engagement auprès de l'industrie est influencé par des pairs eux aussi en relation étroite avec l'industrie. Pour autant, ces résultats cachent un ensemble de situations particulièrement hétérogènes, avec des chercheurs qui font face à des effets particulièrement négatifs de ces interactions avec l'industrie, et la littérature reste muette sur la façon d'organiser ces relations pour en maximiser les impact scientifiques et industriels.

Sur cette base, nous proposerons de modéliser formellement, dans le Chapitre 4, les conditions d'existence et de performance de différents types de couplages science-

industrie, à partir de la théorie C-K. Ce détour par la modélisation formelle à travers les théories de la conception peut s'avérer ardu pour les lecteurs non-familiers de ces approches. Toutefois, nous recommandons la lecture de la dernière partie de ce chapitre, qui synthétise de façon plus aisément abordable, les apports de cette modélisation. Cet effort de modélisation permet de faire émerger trois types de couplages science-industrie (*couplage séquentiel*, *couplage hybridé* et *couplage à double-impact simultané*), dont on peut discuter les conditions de réussites et de performances.

En nous appuyant sur nos efforts de modélisation, nous proposons au Chapitre 5, d'explorer un cas peu connu et dès lors emblématique du couplage à double impact simultané : la découverte du mécanisme de CRISPR-Cas⁹ dans l'industrie agroalimentaire, notamment en France à Dangé-Saint-Romain, par un producteur de ferments lactiques pour les fromages et les yaourts, et ses applications industrielles. Ce chapitre vise à démontrer sur un cas d'étude unique, la pertinence du modèle de couplage à double impact simultané, dont nous validerons les principes de fonctionnement et conditions de réussite. Nous mettrons en exergue en particulier *l'importance de bien séparer l'exploration scientifique de l'exploration industrielle*, tout en instituant des *échanges massifs de connaissances originales et indépendantes* entre les acteurs. Nous montrons alors que la connaissance industrielle, peut donner lieu à la détection d'une anomalie scientifique et proposons un processus *d'indépendantisation des connaissances* qui favorise le double impact simultané.

Nous ne pouvons pas bien sûr nous arrêter à cette étape pour évaluer la pertinence d'un tel modèle : il nous faut étudier son intérêt dans d'autres pans des relations science-industrie. Nous avons décidé dès lors d'étudier successivement au Chapitre 6, le cas du double impact dans les sciences plutôt dites « fondamentales », et au Chapitre 7 celui des sciences plutôt dites « appliquées ». Premièrement, nous établirons, en étudiant sur plus d'un siècle les prix Nobel de Physique, Chimie et de Médecine, que plus d'un cinquième des découvertes majeures s'appuient sur le couplage à double impact simultané, en pleine croissance depuis les années 1990. Mieux encore, nous montrerons que ce type de couplage est sur-représenté chez les futurs Nobels, comparativement aux scientifiques « non-stars ». Deuxièmement, en étudiant la dynamique du double impact dans les thèses CIFRE, ces thèses qui s'appuient sur une collaboration science-industrie, nous montrerons les performances élevées en termes de retombées scientifiques et industrielles de ce type de couplages. Nos résultats permettront aussi de mieux comprendre les logiques de fonctionnement scientifiques et industrielles de ce type de thèse, jusqu'alors relativement méconnues.

Enfin, comme évoqué précédemment, le double impact simultané semble prometteur en temps de crise. Nous avons donc décidé d'étudier sa pertinence en cas de pandémie, à partir d'un cas d'étude sur la recherche scientifique et la production de vaccin sur les coronavirus, dans le Chapitre 8. Nous montrerons que

la crise seule n'est pas un catalyseur d'un tel modèle. Bien que ses performances soient significativement supérieures à d'autres types de couplage, il est nécessaire pour qu'il fonctionne de créer des relations de long terme entre science et industrie, avec des expertises mutuelles.

Enfin, nous concluons notre voyage aux confins des relations science-industrie dans le Chapitre 9, dans lequel nous proposerons quelques perspectives sur l'apport du couplage science-industrie et du modèle de double impact simultané pour repenser les relations science-industrie.

DES AVANCÉES QUI S'APPUIENT SUR DES ÉCHANGES FRUCTUEUX AVEC LES SCIENTIFIQUES ET LES INDUSTRIELS

Les éléments présentés dans cet ouvrage sont le résultat de plus de six ans d'un travail méticuleux et acharné pour conceptualiser un nouveau modèle de relation science-industrie, et retrouver les traces potentielles d'un tel couplage dans des situations aussi diverses que l'industrie agroalimentaire, les thèses CIFRE ou la recherche sur les coronavirus.

Soulignons d'abord que ces travaux ont débuté dans une institution bien particulière, l'École des Mines-PSL, qui prône à sa manière le double-impact science-industrie depuis déjà de nombreuses années. À titre d'exemple, Henry Le Chatelier, évoqué plus haut pour son engagement envers une science qui pourrait s'inspirer de l'industrie, fut élève, puis Professeur de Chimie à partir de 1878, à l'École des Mines, poste dans lequel il développera notamment ses thèses sur les rapports science-industrie. Aujourd'hui l'École des Mines - PSL, dont l'excellence académique ne fait aucun doute (2 prix Nobels, nombreuses médailles CNRS), est aussi la première école d'ingénierie française en termes de volume de sa recherche partenariale avec plus de 1 000 contrats de recherche par an, pour un corps professoral de 225 enseignants-chercheurs. Dès lors, il n'est pas étonnant que la Direction de la Recherche de l'École des Mines-PSL ait soutenu très tôt nos travaux, afin de mieux comprendre un modèle dans lequel l'institution semblait elle-même s'inscrire. Si, pour éviter tout biais méthodologique, nous avons préféré traiter des cas en dehors de l'École des Mines-PSL, ces travaux ont été l'occasion de nombreux échanges avec la direction, et notamment Valérie Archambault que nous remercions pour son soutien.

Nos recherches se sont également appuyées sur des travaux antérieurs menés au Centre de Gestion Scientifique (CGS) de l'École des Mines - PSL, et en particulier ceux de Benjamin Cabanes sur la dynamique de l'expertise scientifique chez ST Microelectronics, mais aussi sur plus de vingt ans d'exploration et d'études de l'innovation et de la science par Pascal Le Masson et Benoît Weil à l'École des

Mines. Ils se sont poursuivis avec la thèse de Quentin Plantec, désormais enseignant-chercheur à TBS Education, dont est extrait une large partie des résultats qui sont présentés ici.

À la façon d'une mise en abîme du couplage à double impact simultané : nos travaux se sont inspirés d'échanges constants avec de très nombreux praticiens œuvrant au cœur des relations sciences-industrie. Il faut souligner d'une part, le rôle clé de l'Institut National de la Propriété Industrielle (INPI), et en particulier de Frédéric Caillaud, Romain Soubeyran, Pascal Faure et Nicolas Sennequier, qui ont soutenu très tôt cette démarche de recherche et nous les en remercions. D'autre part, ces travaux ont bénéficié du soutien constant de l'Association Nationale de la Recherche et de la Technologie (ANRT), en particulier de Clarisse Angelier, que nous souhaitons également remercier chaleureusement, allant même jusqu'à nous proposer de présenter nos travaux à une large audience, au Collège de France, pour le 40^e anniversaire des thèses CIFRE.

Il est important de souligner que les travaux présentés dans cet ouvrage ont fait l'objet de nombreuses présentations dans plusieurs colloques scientifiques français et internationaux (Academy of Management Conference, R&D Management Conference, Association Internationale de Management Stratégique Conférence, European Academy of Management Conference, International Conference on Engineering Design), et ont fait l'objet de plusieurs publications. À titre d'exemple :

- Le Chapitre 1 s'appuie notamment sur la publication : Plantec Q., Le Masson P., Weil B. (2023). « Une analyse des relations science-industrie au travers de la notion de couplage : vers un modèle à double-impact simultané », *Vie & Sciences de l'entreprise*, (6), 256-287.
- Les Chapitres 4 et 5 s'appuient notamment sur la publication : Plantec Q., Le Masson P., Weil B. (2024). « Simultaneous Discovery-Invention in Corporate R&D: Lessons from the CRISPR Case », *European Management Review* (à paraître).
- Le Chapitre 6 s'appuie notamment sur la communication en conférence : Plantec Q., Le Masson P. et Weil B. (2022, Août). « Nobel laureates and the role of the industry in the emergence of new scientific breakthroughs », dans *Academy of Management Conference*.
- Le Chapitre 7 s'appuie notamment sur la publication : Plantec Q., Cabanes B., Le Masson P., Weil B. (2023). « Early-career academic engagement in university-industry collaborative PhDs: Research orientation and project performance », *Research Policy*, 52(9).
- Le Chapitre 8 s'appuie notamment sur la publication : Plantec Q., Sternberger C., Le Masson P., Weil B. (2021). « Crises sanitaires et contributions industrielles à la recherche scientifique : le cas des coronavirus », *Revue Française de Gestion*, 47(6), 11-29.

Enfin, il faut souligner que ces travaux ont reçu plusieurs distinctions scientifiques, la thèse de Quentin Plantec recevant notamment le Prix de la Meilleure thèse transdisciplinaire en sciences de Gestion de la FNEGE 2022, le prix de la Meilleure thèse de l'Association Internationale de Management Stratégique (AIMS) 2022 et était finaliste du Prix de thèse de l'Association Nationale des Docteurs en Sciences Économiques et de Gestion (ANDESE).

DES IMPLICATIONS POUR LA RECHERCHE, LES DÉCIDEURS ET LES PRATICIENS

L'analyse approfondie des interactions entre la science et l'industrie, notamment au prisme du modèle de couplage à double impact simultané, offre aux praticiens et aux décideurs des apports précieux pour mieux comprendre la collaboration entre les Organismes Publics de Recherche et les entreprises.

Le modèle de couplage à double impact simultané met en évidence l'importance d'une interaction bidirectionnelle enrichissante, où la science et l'industrie ne se contentent pas de coexister mais de co-crée, en apportant chacune des connaissances originales, en explorant conjointement l'inconnu. Paradoxalement, pour que cette collaboration tienne ses promesses, il est nécessaire que les deux acteurs préservent leurs «espaces de conception» respectifs, en d'autres termes, leur indépendance. Il s'agit donc de séparer, pour mieux co-crée. La modélisation et les tests empiriques réalisés permettent ainsi de lever le voile sur les conditions du fonctionnement vertueux de certaines organisations qui revêtent des caractéristiques associées au double impact simultané, comme les laboratoires communs du CNRS et les unités mixtes de recherche (UMR) avec les entreprises, le dispositif ANR Labcom, les Instituts de Recherche Technologique comme SystemX, les thèses CIFRE. Ces organisations et dispositifs font d'ailleurs écho à une tendance mondiale : celle de développer de nouveaux instituts qui adoptent des caractéristiques que l'on pourrait associer au double impact simultané, comme ARIA aux États-Unis, ou les dérivées de ARPA-E, par exemple pour la lutte contre le réchauffement climatique aux États-Unis. Mieux comprendre les relations science-industrie est essentiel, notamment pour les chercheurs, qui peuvent parfois être hésitant à interagir avec l'industrie. Nos recherches apportent alors des données tangibles sur les possibilités de percées scientifiques et industrielles qu'offrent ces collaborations, comme le montre le cas édifiant et à grande échelle des prix Nobel en interaction avec l'industrie.

Pour les entreprises, nos résultats montrent que l'intégration de démarches scientifiques dans leurs processus d'innovation se révèle être une stratégie gagnante, permettant de débloquent un potentiel significatif de découvertes et d'inventions. Cela nécessite d'abord un engagement réel et tangible envers la recherche scientifique, qui reposent sur des scientifiques experts, au fait des derniers

résultats de la recherche académique et qui s'impliquent dans la dynamique de celle-ci. Ensuite, cette stratégie requiert la mise en place de cadres permettant de maintenir une séparation constructive entre les activités de conception scientifique et industrielle. Les cas tels que DuPont-Danisco sur CRISPR-Cas9 illustrent la faisabilité et les bénéfices de cette approche, soulignant l'importance de piloter l'expertise, de favoriser les combinaisons d'expertises diverses et d'intégrer des connaissances externes.

Enfin, soulignons que si nous avons proposé des voies pour mieux comprendre et rapprocher recherche académique et innovation, il ne faudrait pas oublier que les recherches peuvent aussi prendre du temps avant de trouver leurs applications. C'est ce que montre le modèle de couplage dit séquentiel, avec des interactions plus distantes avec l'industrie, et qui peut comme nous l'avons montré, s'avérer sous certaines conditions, vertueux. Dès lors, le financement public reste essentiel, et il est nécessaire de voir les trois modèles de couplages science-industrie co-exister. Pour autant, il est nécessaire que les acteurs soient conscients du type de relation dans lequel il s'engage, des conditions de performances et des risques associés, et que le modèle choisi soit en adéquation avec leurs attentes respectives.

Notre exploration soulève également des perspectives enrichissantes pour la recherche en sciences de gestion, notamment en ce qui concerne les dynamiques de collaboration entre la science et l'industrie. L'adoption du modèle de couplage à double impact simultané comme cadre d'analyse a permis de mettre en lumière des aspects jusqu'alors sous-estimés de ces interactions, tels que l'importance de l'hybridation des concepts, la préservation des espaces de conception, et les mécanismes de défixation croisée, dans la lignée des recherches sur la théorie C-K.

Ce travail ouvre la voie à de nouvelles pistes de recherche, notamment sur la manière de concevoir et de gérer les interactions entre la science et l'industrie pour favoriser une innovation plus intégrée et symbiotique. Il invite à une exploration plus profonde des conditions managériales et institutionnelles favorables au double impact simultané, ainsi qu'à une réflexion sur les compétences, le *leadership*, et les cadres nécessaires pour cultiver une telle dynamique de collaboration.

Ainsi, cet ouvrage ne se contente pas de fournir une analyse des relations entre science et industrie ; il propose également un cadre renouvelé pour comprendre et optimiser ces dynamiques complexes. Pour les praticiens, il souligne la valeur ajoutée d'une approche intégrée à l'innovation, capable de surmonter les cloisonnements traditionnels et de répondre aux défis complexes de notre époque. Pour les chercheurs, il ouvre des horizons vastes et prometteurs pour la recherche future, invitant à repenser les modalités de collaboration entre la science et l'industrie dans une perspective de co-création de connaissances et de management de l'innovation.

En conclusion, nos réflexions soulignent l'importance de repenser les modalités de collaboration entre la science et l'industrie pour relever les défis majeurs de notre temps, notamment les crises contemporaines et les grandes transitions telles que le changement climatique, qui ont comme corolaire à la fois le besoin impérieux de produire des savoirs scientifiques nouveaux pour comprendre, anticiper et favoriser lesdites transitions, mais aussi la nécessité développer de nouveaux procédés, services et outils innovants pour y faire face. À travers l'exploration du concept innovant du couplage science-industrie, et notamment le modèle de double impact simultané, nous mettons en lumière les voies par lesquelles une collaboration plus étroite et symbiotique entre ces deux sphères peut nous aider à atteindre ce double objectif. Nos travaux incitent les décideurs, les chercheurs, et les industriels à adopter une perspective plus intégrée, où la science et l'industrie favorisent la co-crédation, paradoxalement en maintenant l'indépendance de l'exploration scientifique et du développement, mais en favorisant un échange abondant de connaissances. Cet ouvrage offre non seulement une analyse approfondie des interactions actuelles entre science et industrie mais aussi une vision audacieuse et pragmatique pour bâtir un avenir où la recherche et le développement industriel s'entremêlent de manière à répondre efficacement aux urgences globales et à soutenir une transition vers des sociétés plus résilientes et durables.